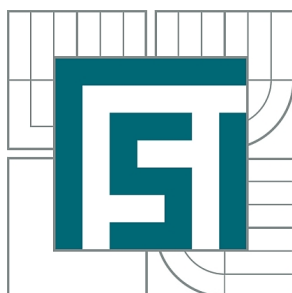




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ VÝKONU SPALOVACÍCH MOTORŮ

DYNAMOMETER FOR MEASURING POWER OF IC-ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ MIKULÁŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Mikulášek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zařízení na měření výkonu spalovacích motorů

v anglickém jazyce:

Dynamometer for measuring power of IC-engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Seznámit se s problematikou měření krouticích momentů a výkonu u spalovacích motorů jak samostatných tak i zamontovaných ve vozidlech. Popsat výhody a nevýhody jednotlivých typů dynamometrů. Sestavit přehled norem, které se týkají měření výkonu spalovacích motorů.

Cíle bakalářské práce:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání tj. vývoj dynamometrů
3. Výhody a nevýhody jednotlivých typů dynamometrů
4. Přehled norem týkajících se měření spalovacích motorů
5. Vliv atmosférických podmínek na měření
6. Závěr, zahrnující směry, kterým se bude rozvoj těchto zařízení
7. Seznam použitých zdrojů
8. Seznam zkratk a použitých veličin

Seznam odborné literatury:

- [1] Atkins R.D. , An Introduction to Engine Testing and Development SAE Permissions 2009
- [2] VLK F., Zkoušení a diagnostika motorových vozidel, Vlk nakladatelství, 1. vydání, Brno 2001.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 22.11.2013

L.S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	3
---------	------------------	------	---

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo shrnutí a vývoj zařízení na měření výkonu spalovacích motorů od počátečních jednoduchých dynamometrů, až po moderní elektronická zařízení s tenzometrickou přírubou pro snímání krouticího momentu. Porovnání jejich výhod a nevýhod tj. použitelnost, ekonomičnost, výkonnost a ovladatelnost, dále srovnání s normami zabývajícími se touto problematikou. Použití těchto zařízení je podmíněno dodržením atmosférických podmínek stanovených normou a výrobcem.

Klíčová slova

měření výkonu, spalovací motory, dynamometry, výkonové a momentové charakteristiky

ABSTRACT

The aim of the work was to summarize the development of a system for measuring the power of internal combustion engines, from the initial simple dynamometers, to modern electronic devices with flange strain gauge for sensing torque compared their advantages and disadvantages, usability, efficiency, performance and manageability. Furthermore there was performed comparison with the standards dealing with this issue. Use of these devices is available, subject to atmospheric conditions specified in standard and manufacturer.

Key words

performance Measures, combustion engine, dynamometer, performance and torque characteristic

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	4
---------	------------------	------	---

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIKULÁŠEK, Tomáš. *Zařízení na měření výkonů spalovacích motorů*. Brno 2014.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství,
Energetický Ústav. 37 s. doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	5
---------	------------------	------	---

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem Bakalářskou práci na téma **Zařízení na měření výkonu spalovacích motorů** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Tomáš Mikulášek

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	6
---------	------------------	------	---

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	7
---------	------------------	------	---

Obsah

Obsah.....	7
Úvod.....	8
1. Přehled současného poznání tj. vývoj dynamometru – Zatěžovací stroje....	9
1.1 Motorové dynamometry.....	10
1.1.1 Mechanické (třecí) dynamometry.....	10
1.1.2 Vzduchové dynamometry.....	11
1.1.3 Hydraulické dynamometry.....	12
1.1.4 Elektromagnetické vířivé dynamometry.....	15
1.1.5 Elektrické dynamometry.....	16
1.1.6 Tenzometrické příruby.....	18
1.2 Vozidlové dynamometry.....	19
2. Výhody a nevýhody jednotlivých typů dynamometrů a momentové charakteristik vybraných typů.....	20
2.1 Hydraulické dynamometry.....	20
2.2 Elektromagnetické vířivé dynamometry.....	23
2.3 Elektrické dynamometry.....	26
3. Přehled norem týkajících se měření spalovacích motorů.....	28
4. Vliv atmosférických podmínek na měření.....	29
4.1 Směs paliva a vzduchu.....	29
4.2 Vliv atmosférických podmínek výběr z normy ČSN 302008 - Motory automobilové Zkoušky na brzdovém stanovišti.....	30
5. Závěr.....	34
6. Seznam použitých zdrojů.....	35
7. Seznam zkratk a použitých veličin.....	36

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	8
---------	------------------	------	---

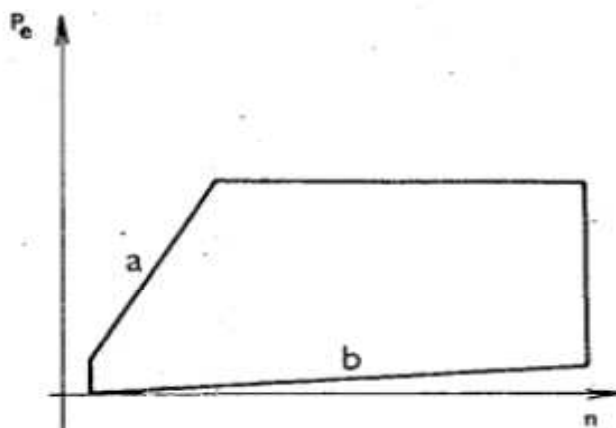
ÚVOD

Tato bakalářská práce pojednává o zařízení na měření výkonu spalovacích motorů.

Měření výkonu a krouticího momentu je jedna ze stěžejních metod, která má velký vliv na konečné vlastnosti vozidla. Měření se provádí pomocí zatěžovacích strojů – dynamometrů. Protože postupem času se spalovací motory rychle vyvíjely a jak jejich výkon rostl, bylo zapotřebí uzpůsobit tomu i vývoj dynamometrů. Z počátku to byly velice jednoduché, ale i značně nepřesné stroje, např. jako jsou mechanické (třecí) a vzduchové dynamometry. Dále přišly daleko složitější (hydraulické dynamometry) stroje, které už byly schopné měřit už značné výkony. V současné době se vývoj těchto strojů snaží ubírat směrem co nejjednodušších zařízení z důvodů ekonomických i ekologických.

1. Přehled současného poznání tj. vývoj dynamometru – Zatěžovací stroje

Chceme-li měřit mechanický výkon spalovacích motorů, je nutno tyto motory zatěžovat pomocí zatěžovacích strojů. Zatěžovací stroje jsou motorové a vozidlové brzdy, nazývané též dynamometry. Základními parametry brzd jsou mechanický výkon, krouticí moment a jejich závislost na provozních otáčkách. Tyto vlastnosti se nejčastěji znázorňují graficky v charakteristice brzdy obr. 1.1 [5].



Obr. 1.1 – Charakteristika brzdy (indukční) [5]

a – omezení maximálním momentem brzdy; b – vlastní ztráty brzdy;

Horní vodorovná čára – omezení maximálním výkonem brzdy

Svislá čára v levo - omezení maximálními otáčkami brzdy

Mechanický výkon se určuje především při rotačním pohybu. Protože se výkon nedá přímo měřit, používá se výpočetní vztah:

$$P = M \cdot \omega \text{ [W]} \quad (1)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \text{ [rad.s}^{-1}\text{]} \quad (2)$$

kde M [Nm] je krouticí moment, ω [rad.s⁻¹] je úhlová rychlost a n otáčky [s⁻¹]. Tedy výkon lze zjistit měřením krouticího momentu a otáček. Pro určení výkonu je důležité změřit otáčky rotující součásti.

Pro měření krouticího momentu se používají většinou deformační členy. Moment síly namáhá měřicí člen krutem, který se převádí na deformaci a měří se výchylka. Často se uplatňuje i konstrukce využívající změny magnetických deformačních členů [2].

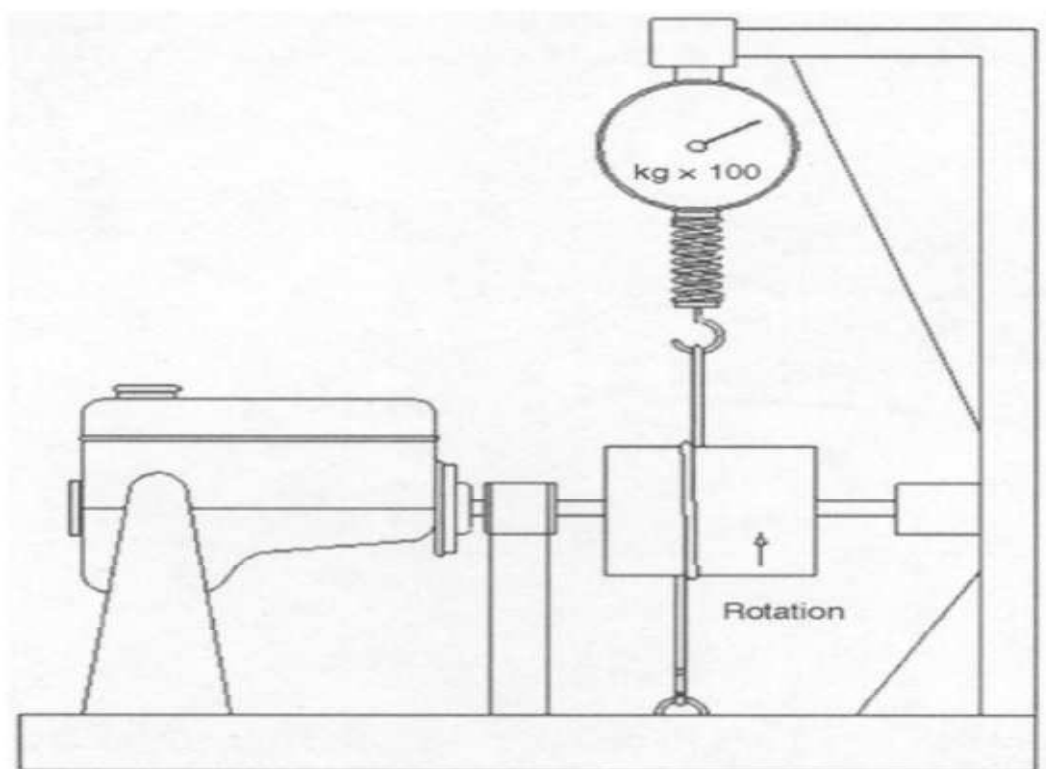
1.1 Motorové dynamometry

Slouží k měření krouticího momentu a otáček přímo na motoru. Existuje několik druhů těchto dynamometrů:

- 1.1.1 Mechanické (třecí)
- 1.1.2 Vzduchové
- 1.1.3 Hydraulické
- 1.1.4 Elektromagnetické vířivé
- 1.1.5 Elektrické

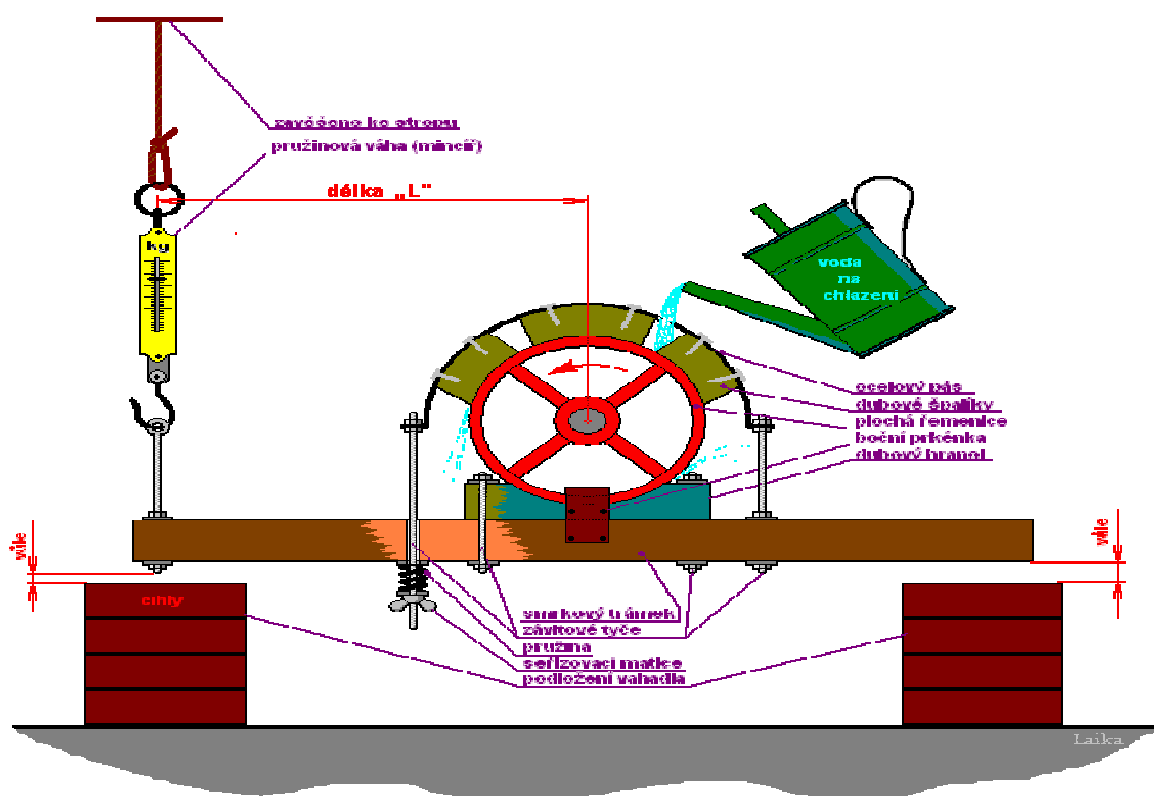
1.1.1 Mechanické (třecí) dynamometry

Jsou velice jednoduché, ale i velmi nepřesné. Principem této brzdy je vyvažování krouticího momentu motoru třecím momentem brzdy [5]. Funkci této brzdy si můžeme vysvětlit pomocí lanového třecího dynamometru na obr. 1.2



Obr. 1.2 – Lanový třecí dynamometr [1].

Lano je uvázáno jedním koncem k očku pružiny pružinové váhy a obmotáno kolem rotačního bubnu pohyblivým uzlem. Druhý konec provazu je uvázán k základové pevné desce. Hřídel bubnu je spojená s hřídelí motoru, u nějž chceme měřit krouticí moment. Uzel na bubnu se stahuje a napíná lano, které natahuje pružinu a toto napětí pružiny indikuje hmotnost. Pomocí otáček a hmotnosti, kterou lano vyvine na pružině, se spočítá výkon [2]. Příkladem je Pronyho brzda Obr. 1.3 [3].



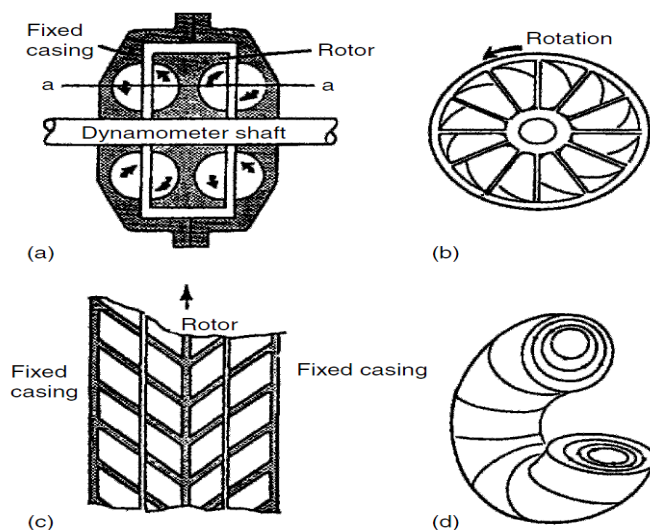
Obr. 1.3 Pronyho brzda [2].

1.1.2 Vzduchové dynamometry

Pracují na principu tření a ohřívání vzduchu, k brždění se používá nejčastěji dvojlistá vrtule [1]. Nejznámějším příkladem je Walkerova vrtulová brzda, která je už nyní velmi zastaralá. Záleží na jednoduchém uspořádání radiálně nastavitelných lopatek, ty přenášejí krouticí moment, který se přibližně odhaduje. Používají se hlavně při testování motorů helikoptér, kde není vyžadována velká přesnost a hluk je akceptovatelný [4].

1.1.3 Hydraulické dynamometry

Jejich funkce je založena na přeměně pohybové energie dodávané hnacím strojem na teplo pomocí vnitřního tření části kapaliny [5]. Představují je diskové dynamometry, které pracují na podobném principu Obr. 1.4.



Obr. 1.4 – Princip hydraulické brzdy [4].

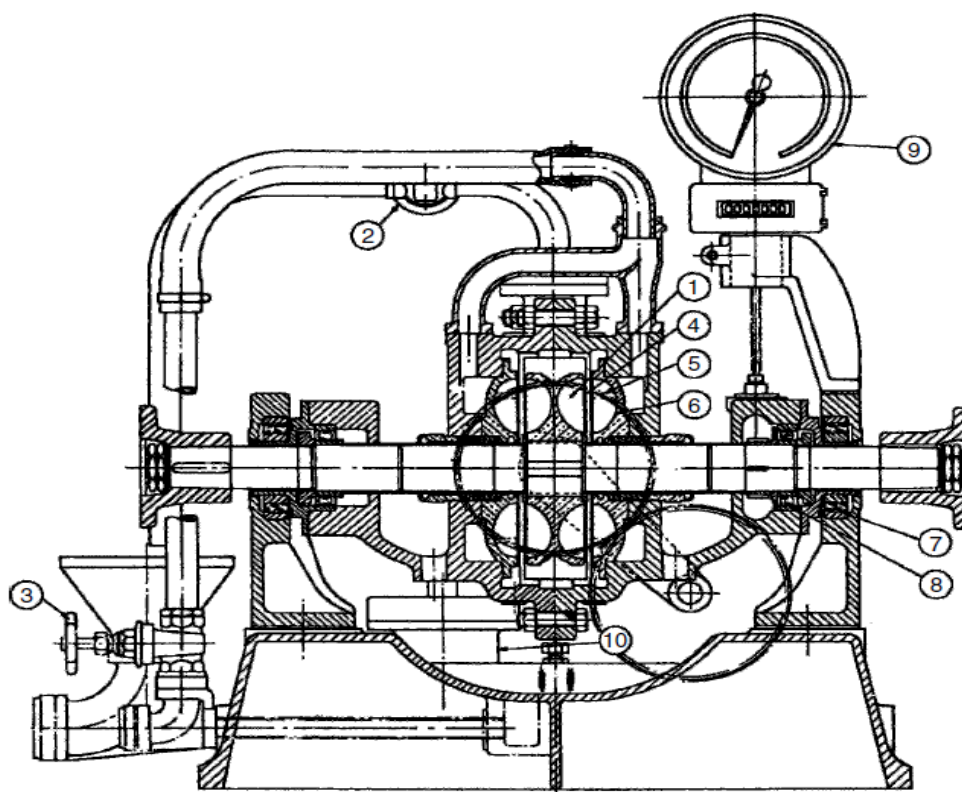
- a) Řez dynamometrem, b) Boční pohled na rotor, c) Řez a-a – pohled na rotor a stator, d) Ukázka toroidního víru.

Hřídel dynamometru nese válcový rotor, který se otáčí ve vodotěsné skříni. V rotoru se nachází polovina vybrání ve tvaru toroidu, druhá polovina toroidního vybrání je ve statoru. Jsou rozdělena do kapes podle radiálních lopatek nastavených v úhlu směřujícím do osy rotoru. Když je rotor poháněn, odstředivé síly spustí intenzivní toroidní cirkulaci, jak ukazují šipky na Obr. 1.4a. Smyslem je převod momentu z rotoru na stator proto, aby vznikl odpor proti krouticímu momentu hřídele (rotor), vyvažován stejným opačně orientovaným momentem na pevné skříni (stator). Důsledkem těchto pohybů je generován vynucený silový vír, vede k velkému turbulentnímu proudění ve vodě a disipace energie ve formě tepla do vody. Střed víru je ventilován do atmosféry pomocí průchodů v rotoru. Přednost toho designu je v tom, že síla je absorbována s minimálním poškozením pohybujících se povrchů, buď za eroze, nebo za efektu kavitace [4].

Příklady hydraulických dynamometrů:

a) Dynamometry s konstantní výplní:

Klasickým příkladem je brzda typu Froude Obr.1.5. Rotor svým pohybem přerušuje vír a vzniká tak velký hydraulický odpor. Energie vířící vody se mění na teplo a na stator tak působí moment ve smyslu otáčení rotoru. Točivý moment statoru je zachycen váhovým mechanismem. Pro ovládání zátěže brzdy slouží clony viz Obr. 1.5 - 4). Jsou to kovové desky, které se vsunují mezi rotor a stator, tím se zvětšuje nebo zmenšuje toroidní víření vody a mění se i absorpční schopnost. Voda v brzdě slouží jako pracovní medium i jako chlazení [5].

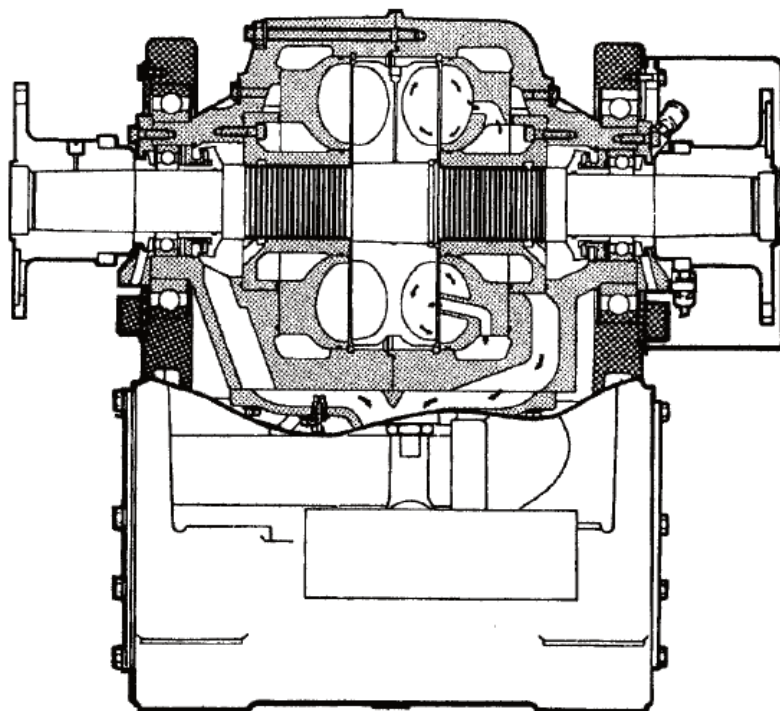


Obr. 1.5 Řez Froude dynamometrem, typ DPX [4].

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 1) Rotor | 6) Podložky pláště |
| 2) Kohoutek odtoku vody pláště | 7) Ložiska čepu vnějšího |
| 3) Kohoutek přítoku vody | 8) Ložiska hřídele |
| 4) Clony pro ovládání zátěže | 9) Tachometr |
| 5) Otvory v lopatkách pro přívod vody | |

b) Dynamometry s variabilní výplní obr. 1.6:

V těchto strojích je krouticí moment absorbován nastavováním množství vody v oběhu uvnitř pláště, tohoto je dosaženo pomocí ventilu, většinou u odtoku vody, spojeným s řídicím systémem. Konkrétní výhodou tohoto řešení je, že krouticí moment může být přeměněn rychleji než u předchozího řešení s clonami pro ovládání zátěže. Existuje několik designů pro ventily na kontrolu průtoku vody a jejich ovládacích mechanismů. Pro nejrychlejší odezvu je nezbytné mít adekvátní zdroj vody na rychlé naplnění pláště, a také aby se naplnily oba vstupní i výstupní ventily s integrovaným řídicím systémem. Do této škály patří největší dynamometr, který kdy byl vyroben s rotorem o průměru přibližně 5 m [4].



Obr. 1.6 Hydraulický dynamometr s variabilní výplní kontrolován rychlým jednáním výstupního ventilu na spodu statoru.

c) Dynamometry s variabilní výplní - Spojení dynamometr s brzdovým válcem
obr. 1.7

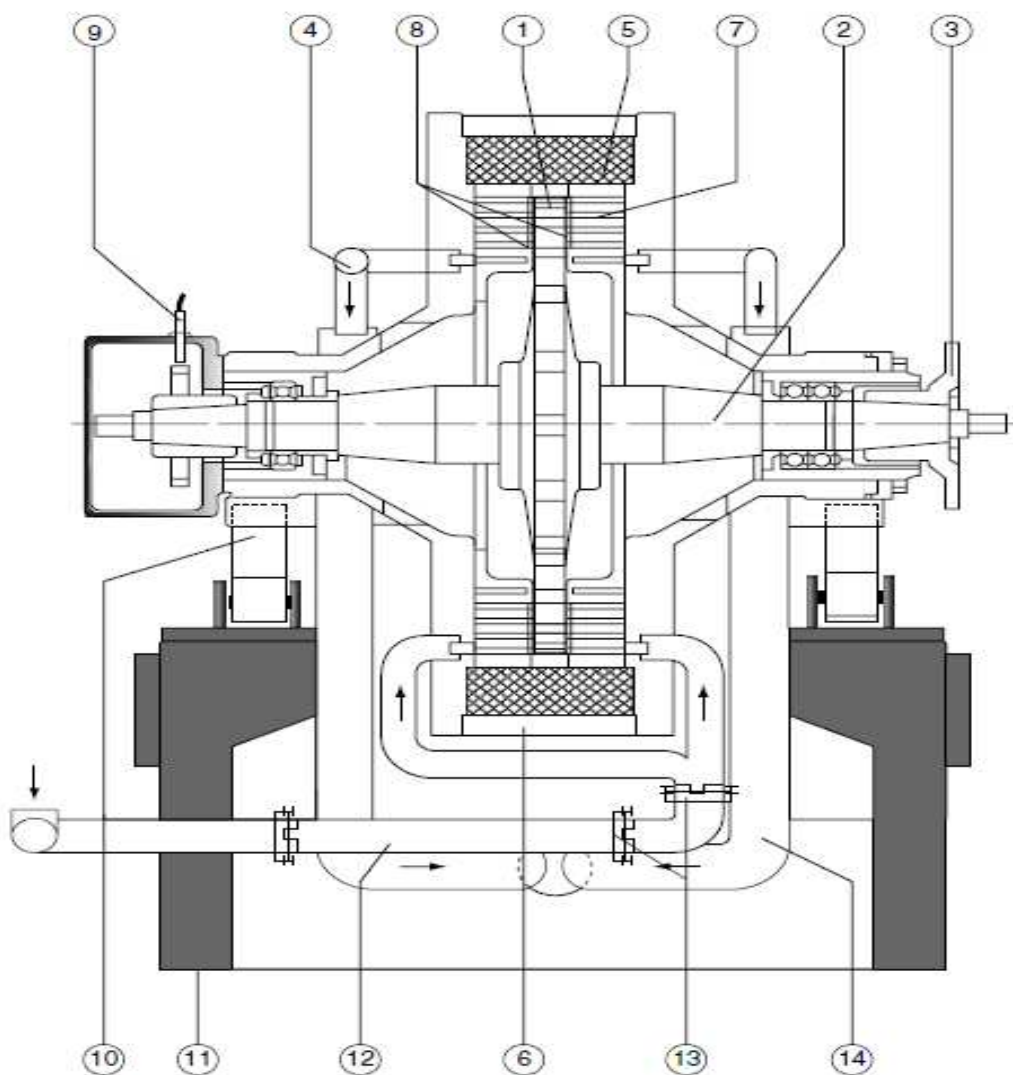
Pracují na stejném principu jako ty popsané v bodě b), ale jsou uspořádány tak, aby byly našroubovány přímo na spojkovou skříň motoru nebo na šasi nákladního vozidla. Stroje jsou schopny měřit výkony do 1000 kW. V těchto zařízeních je zatížení kontrolováno vstupním kontrolním ventilem a sdruženým škrťacím ventilem na výstupu. Kvůli jejich zjednodušenému designu a menší hmotnosti nejsou schopny sloužit na stejné úrovni jako stroje v bodě b) [4].



Obr. 1.7 Spojení dynamometr s brzdovým válcem - dynamometr Taylor TD24-X3 [7].

d) Diskové dynamometry

Nejsou příliš využívány, skládají se z jednoho nebo více disků uložených mezi plochými statorovými deskami, s poměrně malou vůlí. Protože jsou schopny pracovat při vysokých rychlostech, používají se u plynových turbín [4].

1.1.4 Elektromagnetické vířivé dynamometry – obr. 1.8

Obr. 1.8 - Elektromagnetická vířivá brzda [4]: 1- pólový kotouč (rotor); 2- hřídel rotoru; 3 – spojovací příruba; 4 – odvod vody s termostatem; 5 – budící vinutí; 6 – skříň dynamometru; 7 – chladicí komora; 8 – vzduchová mezera; 9 – měřič rychlosti; 10 – pohyblivá podpora; 11 – pevná základna; 12 – přívod vody; 13 – kloub; 14 – potrubí na odvod vody.

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	16
---------	------------------	------	----

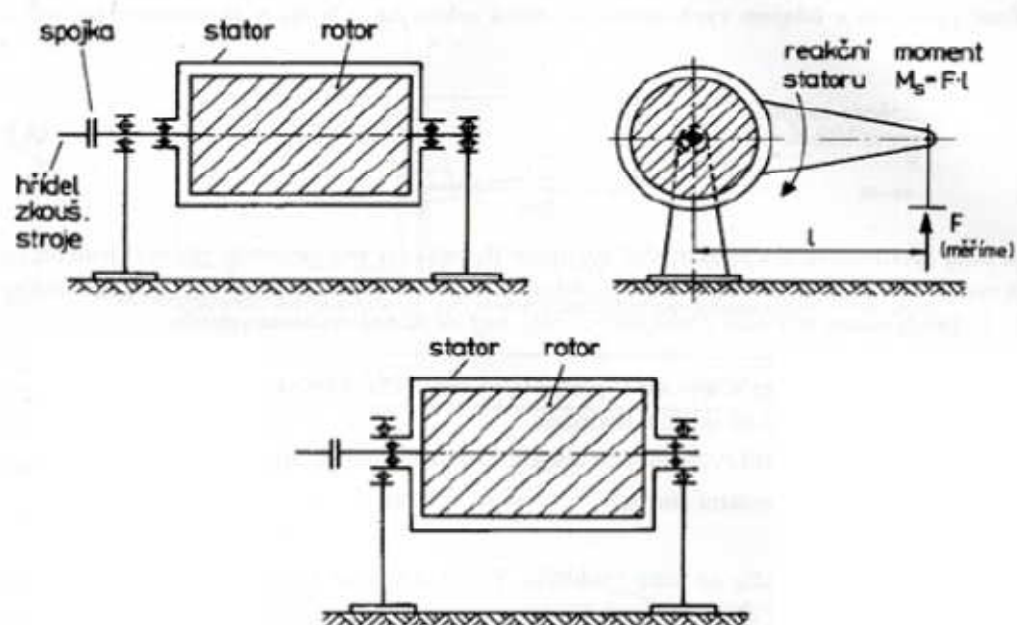
Pracují na principu vzniku vířivých proudů při toku stejnosměrného proudu budícím vinutím. Rotor má tvar dvojřadého ozubeného kola, které se otáčí uvnitř statoru. Magnetický tok vzniká v místech zubů rotoru paralelně s osou stroje a je generován průchodem rotoru dvěma prstencovými cívkami uložených ve statoru [5]. Pohyb rotoru umožňuje zvednout cirkulaci vířivých proudů a disipaci energie ve formě elektrických odporových ztrát. Energie je přesunuta ve formě tepla do chladicího vodního oběhu skrz průchody v chladicí komoře, zatímco část chlazení je dosažena radiálním prouděním vzduchu v mezerách mezi rotorem a statorem. Zatížení je kontrolováno změnou proudu dodávaného do prstencové cívky, a proto jsou umožněny rychlé změny zatížení. Dynamometry na principu vířivých proudů jsou jednoduché a robustní a jsou schopny brzdit krouticí moment i při nízkých otáčkách. Existují dva nejčastější typy, u obou cirkuluje vzduch v mezeře mezi rotorem, statorem a chladicí komorou [4].

- a) Dynamometr s jedním nebo více ozubenými rotorovými koly byly popsány výše. Mají menší setrvačnost než bubnové, ale jsou velmi používané hlavně v Evropě. Nicméně, díky některým konstrukčním prvkům chladicí komory mají jisté omezení ve svém použití. Je velice důležité dosáhnout požadovaného proudění vody skrz stroj po celou dobu provozu, i velmi malé ztráty v chlazení mohou způsobit zmenšování mezery mezi rotorem a statorem, což může mít katastrofální následky. Proto tyto stroje musí být vybaveny senzory na zjišťování proudění kapaliny [4].
- b) Dynamometry s bubnovým rotorem, tyto stroje mívají většinou větší setrvačnost než ekvivalentní stroje vybavené ozubeným rotorovým kolem, ale jsou méně citlivé na kondici chladicí vody [4].

Nicméně jsou k dispozici i jiné druhy strojů, ne tak používané, pracující na principu magnetických vířivých proudů, ať už s ozubenými koly nebo bubnem, kde vzniklý magnetický tok a teplo jsou transformovány do vody obíhající mezeru mezi rotorem a statorem. Mají větší setrvačnost a větší stupeň minimálního krouticího momentu, rostoucího z tření chladicí kapaliny v mezeře.

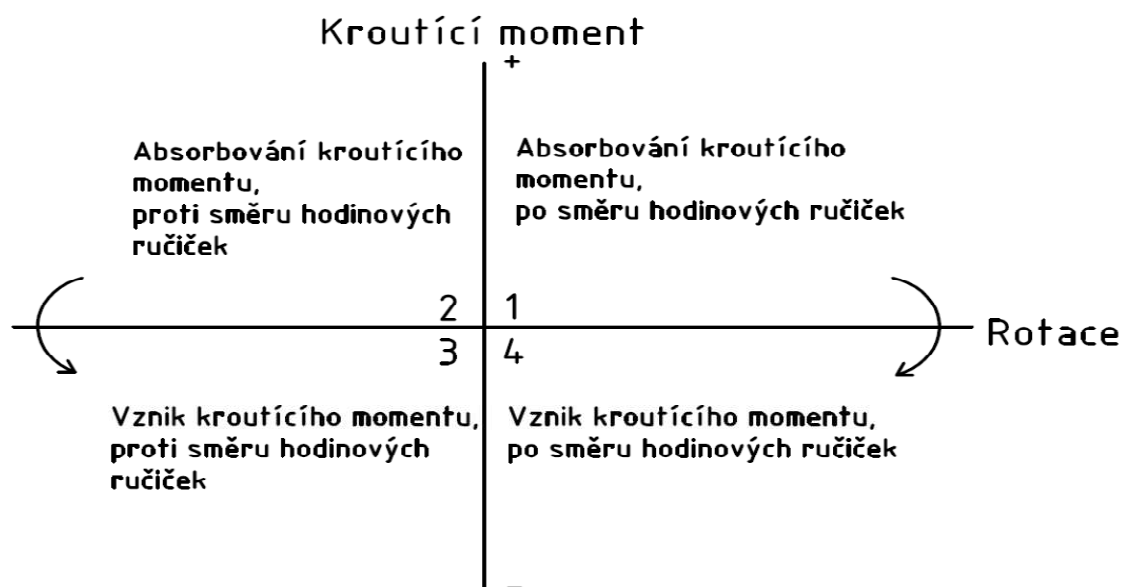
1.1.5 Elektrické dynamometry

Hlavním znakem elektrických dynamometrů je, že absorbovaná energie je přeměněna na elektrickou energii, která je přenášena přes jeho přidružené řídicí obvody. Teplo z dynamometru je odváděno vzduchem (chladicími ventilátory), nebo chladicí vodou [4]. Existují 2 typy elektrických dynamometrů, jedná se o dynamometry stejnosměrného proudu (D.C.) a střídavého proudu (A.C.) [1]. Elektrické dynamometry jsou stroje, které mohou pracovat jako generátory nebo jako elektromotory s výkyvně uloženým statorem. Výkyvné uložení je dvojího druhu, jak je zobrazeno na Obr. 1.9 a to buď, že je sator zavěšen v ložiskách hřídele rotoru a hřídel rotoru v pevných ložiskách, nebo je sator uložen výkyvně v pevných ložiskách, uložených ve statoru [2].



Obr 1.9 uložení dynamometru [2].

Moderní elektrické dynamometry pracují ve 4 kvadrantech, viz Obr. 1.10, kvůli tomu je nezbytné měřit rychlost, ale i smysl otáčení. Dekódovací systém pro určení smyslu rotace používá oddělené stopy rytých disků. Je velmi důležité, aby operátor používal a rozuměl zavedené konvekci popisující smysl otáčení [4].



Obr. 1.10 Operační kvadranty dynamometru [4]

1.1.6 Tenzometrické příruby

Výhodou technologie tenzometrických snímačů je schopnost měřit krouticí moment s velkou přesností, které je dosaženo pomocí extrahování měřicího signálu, až po absolutní fyzikální limity tenzometrické technologie (tj. až na úroveň tepelného šumu) [9].



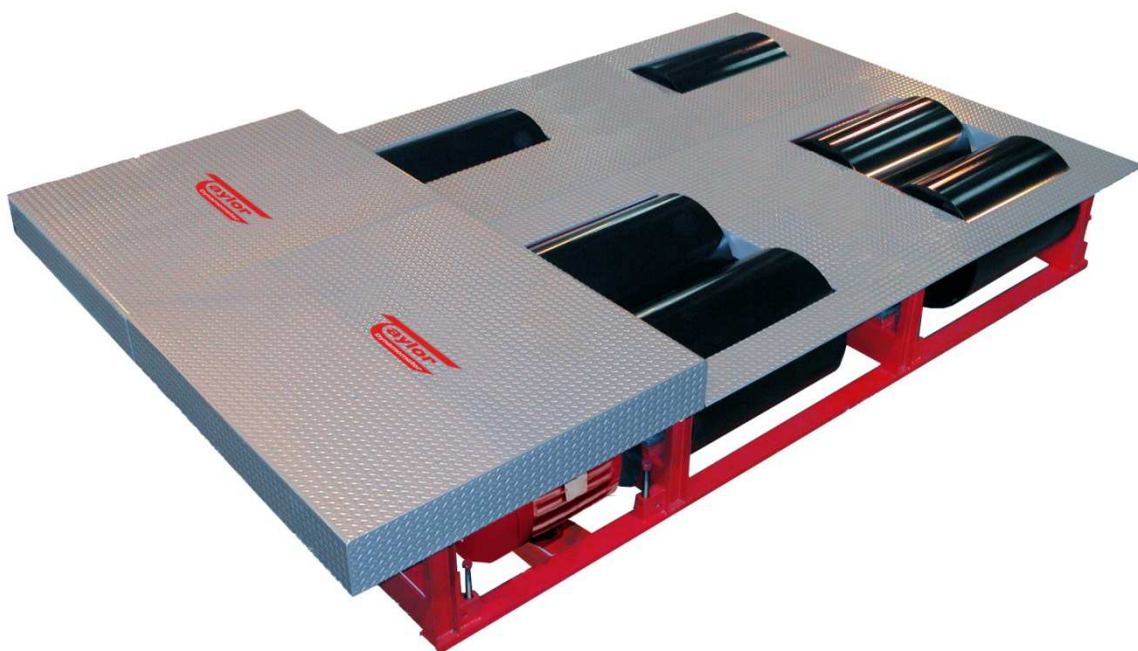
Obr. 1.11 Tenzometrická příruba - HBM T40 [9].

Tenzometrické příruby jsou všestranná zařízení pro měření krouticího momentu i za nepříznivých podmínek, mají velký rozsah měření až do 10 kNm. Například typ příruby HBM T40, který je na Obr. 1.11 má měřitelný rozsah od 200 Nm do 10 kNm. Neobsahuje sběrací kroužky ani ložiska a je prakticky bezúdržbová. Měřicí příruba je velmi robustní, což má za následek velice spolehlivé měření a zkrácení času výpadku zkušebního stavu. Přenos dat mezi rotorem a statorem je digitální, takže je zajištěna funkčnost i za velmi nepříznivých podmínek. Měřený krouticí moment lze volitelně předávat pomocí napěťového nebo frekvenčního měniče. Příruby na měření krouticího momentu mají velké využití, díky jejich vestavěné délce je zabudování do zkušebního stavu velice snadné. Jejich uplatnění je hlavně v aplikacích měřících třecí výkon a v automobilovém průmyslu při zkouškách motorů, převodovek a šasi, další možnosti uplatnění jsou například zkoušení elektromotorů, čerpadel a generátorů [10].

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	19
---------	------------------	------	----

1.2 Vozidlové dynamometry

Vozidlové dynamometry měří krouticí moment a výkon na stejném principu jako motorové dynamometry. Měřicí brzdy jsou buď jednonápravové, nebo dvounápravové, pro vozidla s pohonem 4 kol, jejich konstrukce se mezi sebou značně liší. Pro zobecnění uvedeme popis dvounápravové brzdy, viz Obr. 1.12 [5].



Obr. 1.12 Dvounápravová brzda Taylor TD-24-AC [7].

Brzda se skládá z tuhého rámu, na kterém je ukotveno lože s brzdícími válci. Většinou každý z válců je vybaven vlastním dynamometrem, nejčastěji elektrickým a to buď střídavými elektromotory, nebo stejnosměrnými s možností generátorického chodu, to znamená, že může pracovat jako zdroj elektrického proudu. Hřídel brzdícího válce a dynamometru je spojena přes vypínatelnou spojku. Rám je vybaven pojezdovými lištami, které umožňují vertikální posuv válců a tím je možno měřit vozidla s různým rozvorem kol [5].

2 Výhody a nevýhody jednotlivých typů dynamometrů a momentové charakteristiky vybraných typů

2.1 Hydraulické dynamometry

Hydraulický dynamometr s konstantní výplní (typ Froude)

Výhody: V celku zastaralý, ale ve světě stále velmi používaný typ.

Levný a robustní.

Nevýhody: Hlavní nevýhodou je pomalá reakce na změnu zátěže.

Není lehké zautomatizovat manuální kontrolu [4].



Obr. 2.1 Hydraulický dynamometr Taylor DS46-HS [6].

Hydraulický dynamometr s variabilní výplní

Výhody: Je schopen měnit zatížení středně rychle, automatizovaná kontrola, robustní a toleruje přetížení.

Dostupný pro nejširší škálu hnacích strojů.

Nevýhody: Důležitý přístup k otevřenému vodnímu rezervoáru. Může nastat kavitace, nebo i koroze [4].

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	21
---------	------------------	------	----

Dynamometry s variabilní výplní - Spojení dynamometr s brzdovým válcem

Výhody: Jednoduchá a levná instalace. Měření až do 1000 kW.

Nevýhody: Menší přesnost měření a kontroly zatížení než u pevných dynamometrů [4].

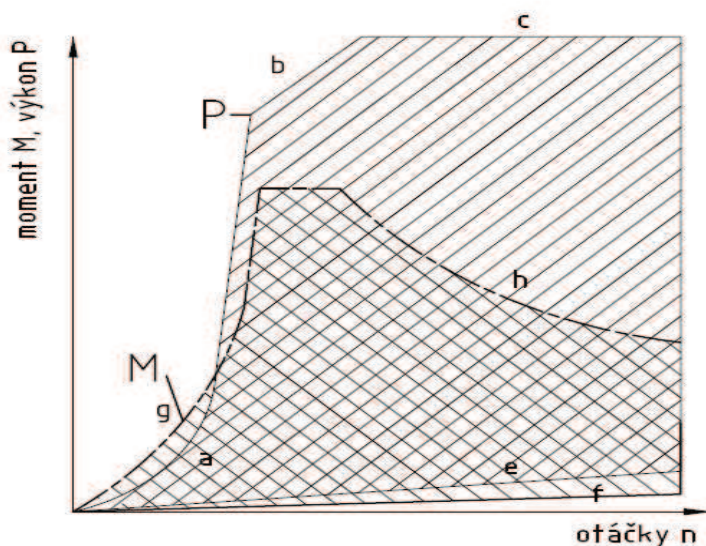
Diskové dynamometry

Výhody: Hodí se pro vysoké rychlosti.

Nevýhody: Špatné výkony při nízkých rychlostech [4].

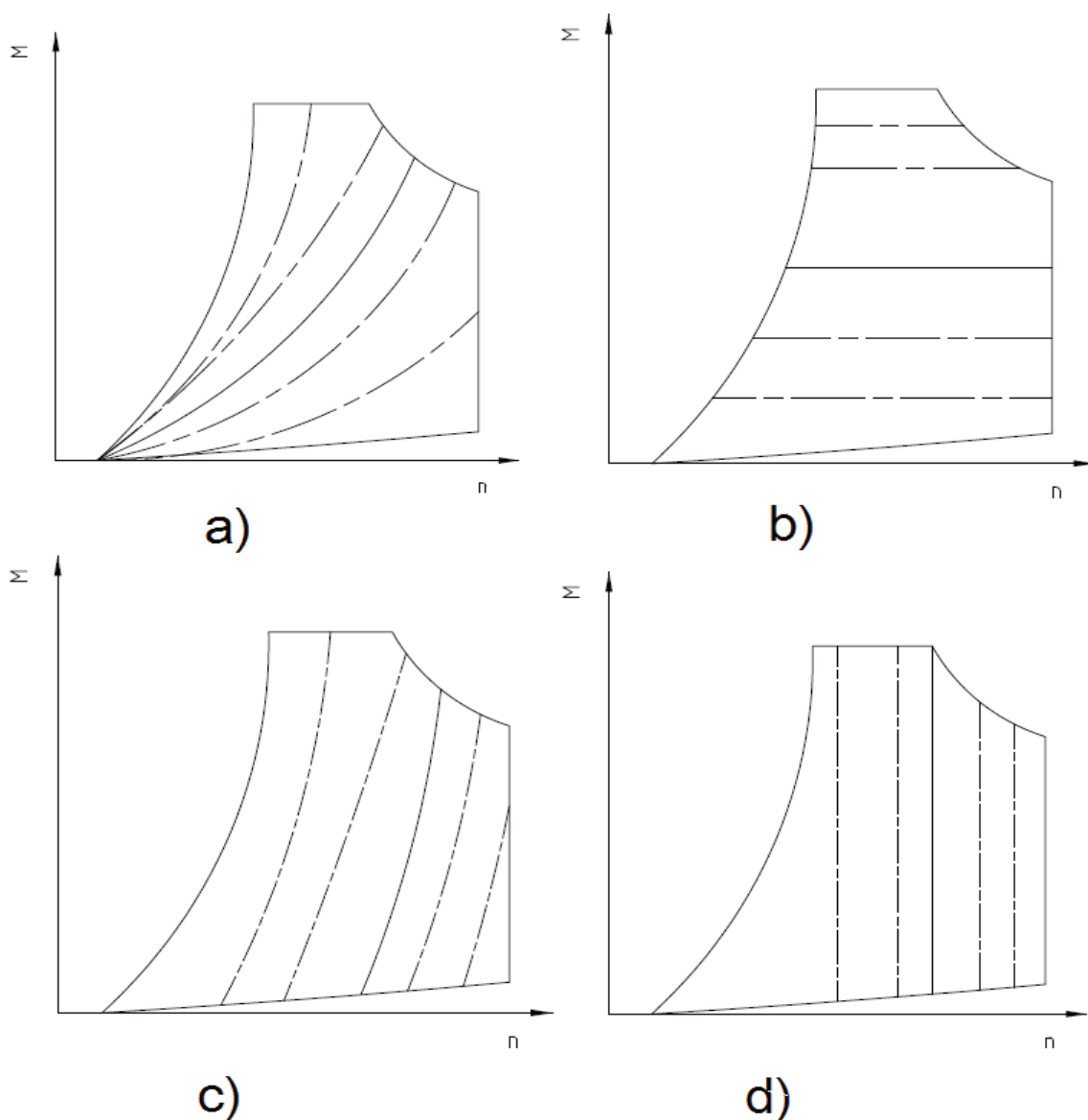
Výkonové a momentové charakteristiky hydraulických dynamometrů:

Brzdné pole hydraulického dynamometru je znázorněno na Obr. 2.2. Graf ukazuje závislost brzděného výkonu P a brzděného krouticího momentu M na otáčkách n . Křivka a je dána množstvím vody, čím větší náplň, tím větší strmost. Přímka b omezuje brzdné pole z hlediska maximálně přípustného výkonu. Omezení přímkou c je způsobeno maximální absorpční schopností vody tj. tepelnou kapacitou vody. Přímka d značí maximální přípustné otáčky dynamometru. Křivka e udává minimální tzv. nulové zatížení, vyvolané u hydraulických brzd ventilačními ztrátami a třením v ložiskách při dynamometru naplněném vodou a křivka f bez vody. Křivky g a h platí pro krouticí moment; g určuje přenášený moment v závislosti na otáčkách a h udává přípustný krouticí moment v závislosti na otáčkách [2].



Obr. 2.2 Brzdové pole hydraulické brzdy – výkonová a momentová charakteristika:
a – hydraulická maximální výkonová křivka; b – přípustná maximální výkonová křivka;
c – přípustná maximální absorpce výkonu; d – otáčkové omezení; e – hydraulická minimální výkonová křivka s vodou; f - minimální výkonová křivka bez vody; g – odpovídající momentová křivka; h – přípustná absorpce momentu [2].

Ovládání hydraulické brzdy je zobrazeno na Obr. 2.3. Dynamometr pouze s hydraulickou regulací má závislost podle obr. 2.3 a. Elektrickou regulací je možné dosáhnout různých průběhů brzdného momentu Obr 2.3 b až Obr 2.3 d [2].

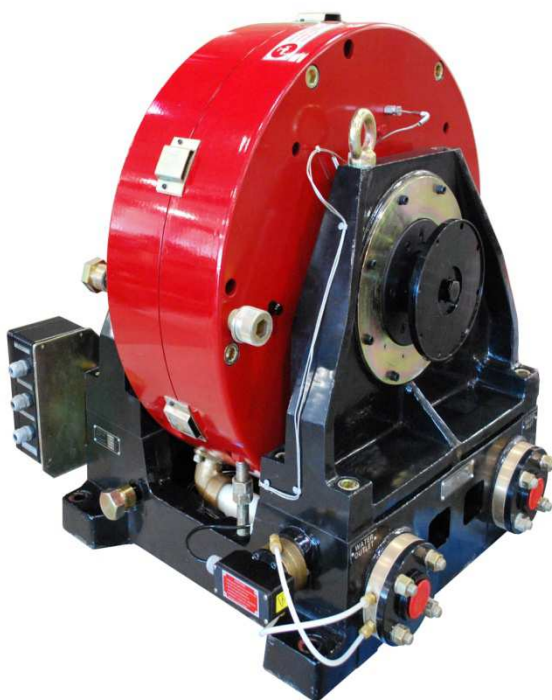


Obr. 2.3 Způsoby ovládání hydraulické brzdy: a) hydraulické ovládání – regulace podle přibližně kvadratické charakteristiky; b) elektrické ovládání – regulace na konstantní moment; c) elektrické ovládání – regulace podle strmé charakteristiky (regulace otáček); d) elektrické ovládání – regulace na konstantní počet otáček (nezávislé na zatížení brzdy a zatížení) [2].

2.2 Elektromagnetické vířivé dynamometry

Výhody: Nízká setrvačnost. Snadno adaptovatelné na ovládání počítačem. Mechanicky jednoduchá. Širší využitelný rozsah otáček než hydraulické brzdy [4, 2].

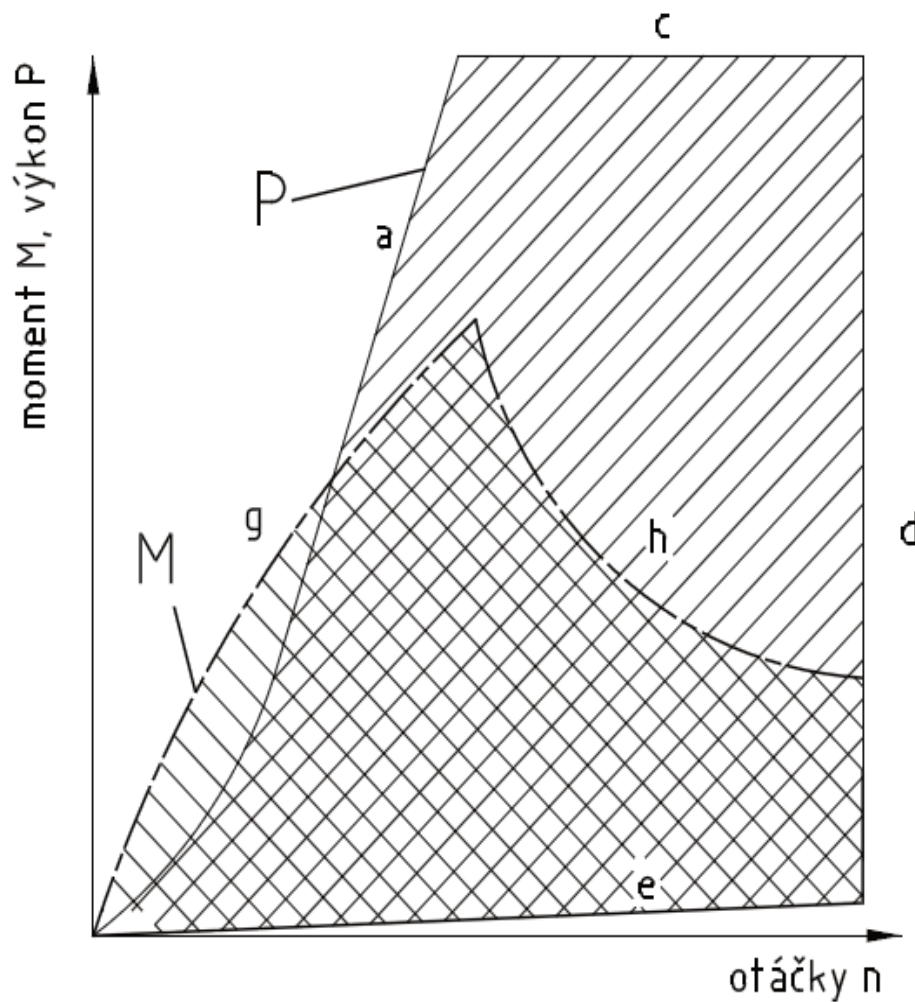
Nevýhody: Náchylné na kvalitní chlazení. Není stavěna pro rychlé změny výkonu [4].



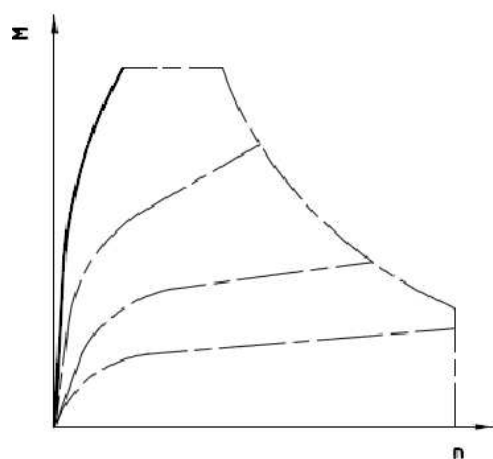
Obr. 2.4 Elektrický vířivý dynamometr Taylor DE720 [8].

Výkonové a momentové charakteristiky elektrických vířivých dynamometrů:

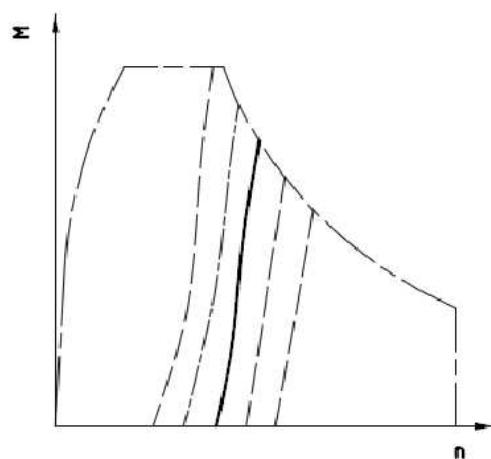
Výkonová a momentová charakteristika elektromagnetické vířivé brzdy je na obrázku 2.5 a základní možnosti regulace jsou na obrázku 2.6 [2].



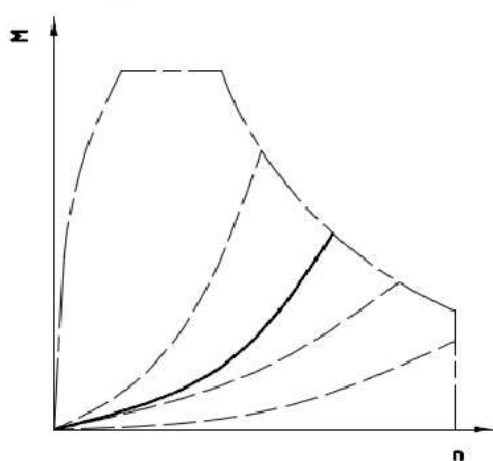
Obr. 2.5 Brzdné pole elektromagnetického vířivého dynamometru: a – magnetická maximální výkonová křivka; c – přípustná absorpce výkonu; d - otáčkové omezení; e – minimální výkonová křivka; g – přípustná magnetická momentová křivka; h – přípustná absorpce momentu [2].



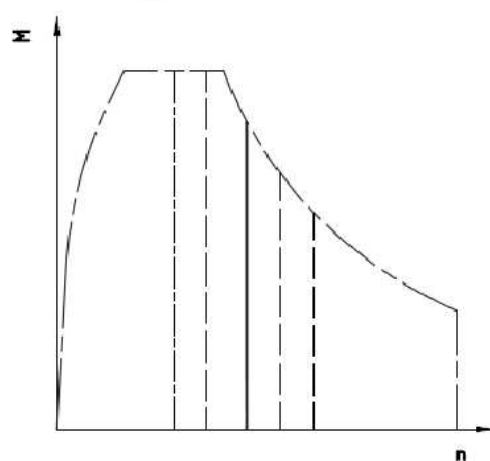
a)



b)



c)



d)

Obr. 2.6 Způsoby ovládání elektromagnetické vířivé brzdy: a – regulace podle intenzity proudu; b – regulace podle strmé charakteristiky (regulace otáček); c – regulace podle přibližně kvadratické charakteristiky (regulace otáček i momentu); d) regulace na konstantní počet otáček [2].

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	26
---------	------------------	------	----

2.3 Elektrické dynamometry

Výhody:

Jejich hlavní výhodou je, že se dají využít i ve funkci motorů. Elektromotor může pohánět válec, na kterém se nachází kola automobilu brzděná vozidlovými brzdami. Elektromagnetický vířivý dynamometr oproti tomu může pouze brzdit [2].

Dynamometry stejnosměrného proudu:

Starší technologie. Výkonný ve všech 4 kvadrantech [4].

Dynamometry střídavého proudu:

Menší setrvačnost než u stejnosměrného, též výkonný ve všech 4 kvadrantech [4].

Nevýhody:

Dynamometry stejnosměrného proudu:

Vysoká setrvačnost, tím i velké zahřívání [4].

Dynamometry střídavého proudu:

Drahý. Rozlehlá řídicí místnost potřebuje vhodné prostory [4].

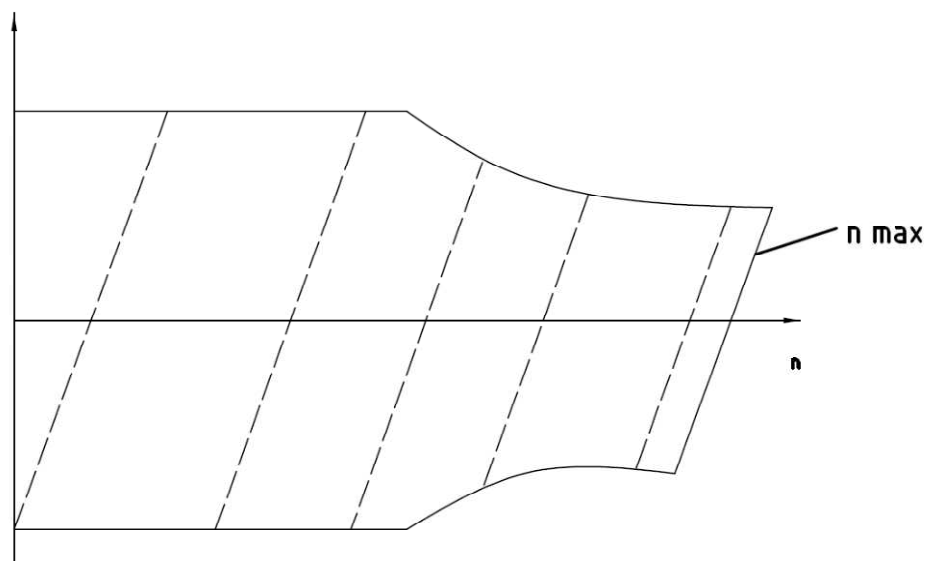


Obr. 2.7 AC dynamometr [11].

Momentová charakteristika elektrického stejnosměrného dynamometru:

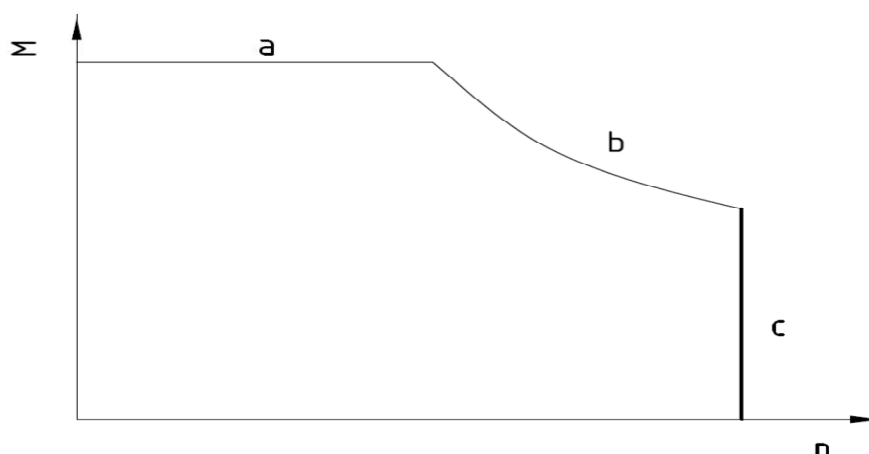
Otáčkový rozsah se dělí na dva úseky. První úsek - z klidu až do poloviny jmenovitých otáček je stroj řízen změnou napětí kotvy, v této oblasti odevzdá jmenovitý moment. Výkon vzrůstá úměrně s otáčkami. V druhém úseku, od poloviny jmenovitých otáček výše, je řízen počet otáček změnou budícího proudu. Zmenšení intenzity proudu zvětšuje otáčky. V této oblasti může stroj odevzdat svůj jmenovitý výkon, moment klesá v převráceném poměru úměrně s otáčkami [2].

Σ



Obr. 2.8 Momentová charakteristika stejnosměrného dynamometru [2].

Momentová charakteristika elektrického střídavého dynamometru:



Obr. 2.9 Momentová charakteristika elektrického střídavého dynamometru: skládá se s těchto částí: a – konstantní moment odpovídající maximálnímu proudu buzení; b – přípustná absorpce momentu; c – maximální dovolené otáčky [4].

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	28
---------	------------------	------	----

3 Přehled norem týkajících se měření spalovacích motorů

Normy ČSN:

ČSN 302008 - Motory automobilové – Zkoušky na brzdovém stanovišti:

Tato norma platí pro automobilové spalovací motory, a to jak bez přeplňování tak i vybavené přeplňováním prostřednictvím mechanického kompresoru: zážehové, vznětové, vícepalivové, plynové a s krouživým pístem a stanovuje metody zkoušek na brzdovém stanovišti při kterých se určují ukazatelé motorů:

- při plné palivové přípusti,
- při částečné palivové přípusti (podle úvahy výrobce),
- při chodu na prázdko (podle úvahy výrobce) [13].

Normy ISO:

ISO 1585 - Road vehicles - Engine test code - Net power:

Tato mezinárodní norma specifikuje metody pro testování spalovacích motorů určené pro automobilová vozidla. Platí pro zhodnocení jejich výkonnosti, zejména s cílem zaměřit se na prezentaci výkonových křivek a spotřebu paliva při plném zatížení jako funkci rychlosti motoru.

Vztahuje se na měření výkonu na výstupu automobilu, to znamená na kolech s připojenou zátěží, jako například posilovač řízení, alternátor apod.

Norma zahrnuje spalovací motory pro pohon osobních vozidel a jiných motorových vozidel, včetně motocyklů, mopedů a zemědělských traktorů, normálně používané na silnici a jsou obsaženy v jedné z těchto kategorií:

- pístové spalovací motory, s výjimkou motorů s volnými písty,
- rotační pístové motory.

Tyhle motory mohou být atmosférické, ale i přeplňované pomocí turbodmychadla, nebo kompresoru [14].

ISO 2534 - Road vehicles - Engine test code - Gross power

Norma obsahuje stejné podmínky, co se týče spalovacích motorů, jako norma ISO 1585 - Road vehicles - Engine test code - Net power, ale tato popisuje měření výkonu přímo na motoru bez připojené zátěže [14].

Normy JIS:

JIS D 1001 - Road vehicles - Engine power test code:

JIS je Japonská průmyslová norma specifikující měření výkonů spalovacích motorů na vozidle i přímo na motoru. Platí i pro dieselové motory pod plným zatížením. Není specifikovaná pro dvoukolová vozidla a zemědělské traktory [16].

4 Vliv atmosférických podmínek

4.1 Směs paliva a vzduchu

Při spalování se přivádí do paliva z atmosférického vzduchu kyslík (tj. okysličovadlo), pro vznik oxidačního procesu paliva. Pro dokonalou oxidaci paliva, to znamená k úplnému vyhoření paliva a vzniku produktů dokonalého hoření, jako jsou CO_2 a H_2O , je zapotřebí přivést k 1kg paliva nejméně tzv. teoretické množství suchého vzduchu L_{VT} . Směs paliva a vzduchu s tímhle obsahem teoretického množství vzduchu se nazývá stechiometrická. Teoretické množství vzduchu L_{VT} se stanoví výpočtem z chemického složení paliva. Bohatost paliva, neboli také poměr mezi množstvím paliva a vzduchu, se vyjadřuje pomocí součinitele přebytku vzduchu λ a jeho hodnota je dána rovnicí [11]:

$$\lambda = \frac{M_V}{M_P \cdot L_{VT}} \quad (3)$$

Kde: M_V ...hmotnost suchého vzduchu ve směsi [kg]

M_P ...hmotnost paliva ve směsi [kg]

L_{VT} ...teoretické množství suchého vzduchu potřebné pro dokonalou oxidaci 1kg paliva [kg/kg]

Teoretické množství vlhkého vzduchu se spočítá ze vztahu:

$$L_{VT}^{\phi} = \left[1 + \frac{\frac{p_{H_2O}}{p_b}}{1 - \frac{p_{H_2O}}{p_b}} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_{SVZD}} \right] \text{ [kg/kg]} \quad (4)$$

Kde: $\frac{p_{H_2O}}{p_b}$... je podíl parciálního tlaku vodních par ku tlaku barometrickému

M_{H_2O} ...je molární hmotnost vodní páry (18,02 kg/kmol)

M_{SVZD} ... je molární hmotnost suchého vzduchu (28,96 kg/kmol)

Pro: $\lambda=1$...stechiometrické složení, to znamená 100% bohatost

$\lambda<1$...jde o směs bohatou, bohatost větší než 100%, nedostatek vzduchu

$\lambda>1$...jde o směs chudou, bohatost menší než 100%, přebytek vzduchu

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	30
---------	------------------	------	----

Pro $\lambda < 1$ dochází k nedokonalému spalování produkcí škodlivých látek ve výfukových plynech, hlavně CO. Kvůli těmto důvodům, ale především pro nedokonalé využití energetického potenciálu paliva v režimu $\lambda < 1$ není vhodné pracovat. K takovému spalování přeci jen může dojít v důsledku nekvalitní homogenizace paliva s lokálním nedostatkem vzduchu. Tento stav mohou zapříčinit funkční poruchy v motoru, nebo může nastat především v režimech maximálního zatížení. Důvodem je zvýšení krouticího momentu vlivem zvýšení rychlosti hoření paliva. To má za následek zvýšení teploty a jedinou možností, jak zabránit poškození třístupného katalyzátoru je obohacování směsi paliva. Po jejím obohacení teplo výfukových plynů klesne vlivem většího množství tepla potřebného pro odpaření většího množství paliva a také vlivem zvětšení hmotnostní náplně v průběhu hoření, což má za následek snížení vysokých spalovacích teplot [11].

V režimu $\lambda = 1$ je nejideálnější a pracuje v něm prakticky většina vozidlových zážehových motorů. Dosažení tohoto způsobu tvoření potřebuje elektronicky řízený palivový systém se zpětnou vazbou, tak zvanou λ sondu na výstupu výfukových plynů z motoru [11].

$\lambda < 1$ v tomto režimu pracují především zážehové motory určité skupiny plynových motorů. Směs v tomto motoru je chudá, což znamená, že má horší zápalnost a plynná paliva vyžadují větší zapalovací energii pro vytvoření kvalitního ohniska zážehu, proto řešení těchto motorů musí zajistit spolehlivý zážeh chudé směsi a dostatečnou rychlost vyhořívání chudé směsi [11].

4.2 Vliv atmosférických podmínek výběr z normy ČSN 302008 - Motory automobilové Zkoušky na brzdovém stanovišti

Norma se skládá ze 4 částí:

PODMÍNKY ZKOUŠEK

Tato část obsahuje podmínky zkoušek, které musí být splněny, aby se test mohl provést. Pro atmosférické podmínky v téhle části platí: teplota a tlak vzduchu nasávaného motorem (okolního vzduchu) musí být při zkouškách z důvodu minimalizace korekčního součinitele co nejblíže hodnotám barometrického tlaku 100 kPa (1000 mbar) nebo 750 mm rt.sl. a teploty vzduchu $\pm 25^\circ \text{C}$ (298 K). Při zkouškách vzduchem chlazených motorů musí být teplota okolního vzduchu v rozsahu uvedeném výrobním podnikem. V případě, že výrobní podnik nepředepisuje hodnotu teploty, nesmí teplota okolního vzduchu převyšovat $\pm 40^\circ \text{C}$. Teplota výfukových plynů nesmí převyšovat hodnotu stanovenou výrobním podnikem [12].

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	31
---------	------------------	------	----

BRZDOVÉ STANOVIŠTĚ

Tato část obsahuje položky, kterými musí být brzdové stanoviště vybaveno jako například zařízení pro měření krouticího momentu s přesností $\pm 0,5 \%$ z maximální hodnoty uvedené na stupnici, zařízení na měření teploty nasávaného vzduchu s přesností $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, teploty chladicí kapaliny s přesností $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, teploty oleje s přesností $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Teploty paliva s přesností $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, teploty výfukových plynů s přesností $\pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, teploty plynu (u plynových motorů) s přesností $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, barometrického tlaku vzduchu s přesností $\pm 200 \text{ Pa}$ ($\pm 2 \text{ mbar}$), tlaku oleje s přesností $\pm 20 \text{ kPa}$ ($0,2 \text{ kp/cm}^2$), tlaku výfukových plynů s přesností $\pm 3 \%$, podtlaku v sacím potrubí nebo plnicího tlaku s přesností $\pm 50 \text{ Pa}$ ($\pm 5 \text{ mm vod .sl.}$).

Podmínky pro měření teploty:

Teplo nasávaného vzduchu (okolního vzduchu) se měří ve vzdálenosti nejvýše 0,15 m od vstupního otvoru do vzduchového čističe; pokud se vzduchový čistič nepoužívá, tak ve vzdálenosti nejvýše 0,15 m od sacího hrdla.

U motoru s přeplňováním se doporučuje doplňkově měřit teplotu vzduchu za dmychadlem.

Teploměr (termočlánek) musí být zacloněn před působením sálavého tepla a rozstřikovaného paliva a musí být umístěn přímo do proudu vzduchu.

Teplotu výfukových plynů ve vzdálenosti maximálně 0,1 m od výstupní příruby sběrného potrubí motoru. Je-li na motoru více sběrných potrubí, provádí se měření v každém samostatně.

Teplotu chladicí kapaliny ve výstupu z hlavy (nebo hlav) válců, před termostatem, ve společném hrdle vedoucím k chladiči.

Teplotu oleje v olejové nádrži u motorů se suchým spodním víkem nebo ve spodním víku motoru nebo na výstupu z výměníku tepla v místě určeném výrobcem.

Podmínky pro měření tlaku:

Měření tlaku okolního vzduchu, nasávaného v sacím potrubí. U motoru s přeplňováním před a za dmychadlem.

Tlaku výfukových plynů u výstupní příruby sběrného potrubí. U motorů s turbodmychadlem před a za turbínou

Tlaku oleje v mazací soustavě v místě určeném výrobcem [12].

POSTUP PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK

Obsahuje postup a zobrazování výsledků provedené zkoušky [12].

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	32
---------	------------------	------	----

ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

Výsledky měření a výpočtů se musí zapsat do protokolu. Při zkouškách motorů zážehových a vznětových (bez přepřínování a s přepřínováním dmychadlem, mechanickým pohonem), pracujících při plné palivové přípušti se výkon, točivý moment a střední užitečný tlak přepočítává na normální atmosférické podmínky:

barometrický tlak 100 kPa (1000 mbar) nebo 750 mm rt.sl.

teplota vzduchu $\pm 25^{\circ}\text{C}$ (298 K)

Pro převod na normální atmosférické podmínky se změřená hodnota točivého momentu (výkonu) zážehových motorů násobí součinitelem K_o , stanoveným podle následujícího vzorce:

$$K_o = \frac{100}{P} \left(\frac{T}{298} \right)^{0,5} \quad (5)$$

Kde T je absolutní teplota nasávaného vzduchu v K, P atmosférický tlak v kPa.

Korekční součinitel se používá v rozsahu od 0,96 do 1,06. Pokud hodnota korekčního součinitele překračuje tyto hodnoty, musí být atmosférické podmínky, při kterých se zkoušky provádějí (teplota a tlak) a rovněž hodnota K_o uvedeny v protokole o zkouškách.

Pro vznětové motory při převodu na normální atmosférické podmínky, se měřená hodnota krouticího momentu násobí součinitelem K_d stanoveným podle následujícího vzorce:

$$K_d = \left(\frac{100}{P} \right)^{0,65} \left(\frac{T}{298} \right)^{0,5} \quad (6)$$

Nebo podle rovnocenného vzorce:

$$K_d = 1 + \frac{A}{100}, \text{ kde } A = 0,65 (100 - P) + 0,17 (T - 298). \quad (7)$$

Korekční součinitel se používá v rozsahu od 0,96 do 1,06.

Pokud je korekční součinitel větší než 1,06 nebo menší než 0,96 nebo vstřikované množství paliva, měřené v průběhu zkoušek, je menší než 50 mm^3 na litr pracovního objemu nebo větší než 75 mm^3 na litr pracovního objemu. Pak hodnota K_d , hodnoty atmosférického tlaku a teploty a rovněž vstřikované množství paliva v $\text{mm}^3 \cdot \text{l}^{-1}$ musí být uvedeny v protokole o zkouškách [12].

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	33
----------------	-------------------------	-------------	-----------

Pro čtyřdobé vznětové motory s turbodmychadlem se korekce naměřeného točivého momentu (výkonu) neprovádí. Pokud se teplota a tlak okolního vzduchu liší od normálních podmínek o více než $\pm 5 \%$, pak podmínky, při kterých jsou zkoušky prováděny, musí být uvedeny do protokolu o zkouškách.

Pro vznětové motory s dmychadlem s mechanickým pohonem se korekce neprovádí, pokud součinitel r je menší než $50 \text{ mm}^3 \cdot \text{l}^{-1}$ nebo je větší, pak se korekce provádí pomocí součinitele K_d pro vznětové motory [12].

Součinitel r se určuje podle vzorce:

$$r = \frac{1}{\frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{T_1}{T_2}} \cdot \frac{g}{V} [\text{mm}^3 \cdot \text{l}^{-1}] \quad (8)$$

kde P_1 je tlak okolního prostředí

P_2 tlak v sacím potrubí motoru v Pa

T_1 teplota okolního prostředí v K

T_2 teplota v sacím potrubí v K

g spotřeba paliva v mm^3 za cyklus

V objem válce v l [12].

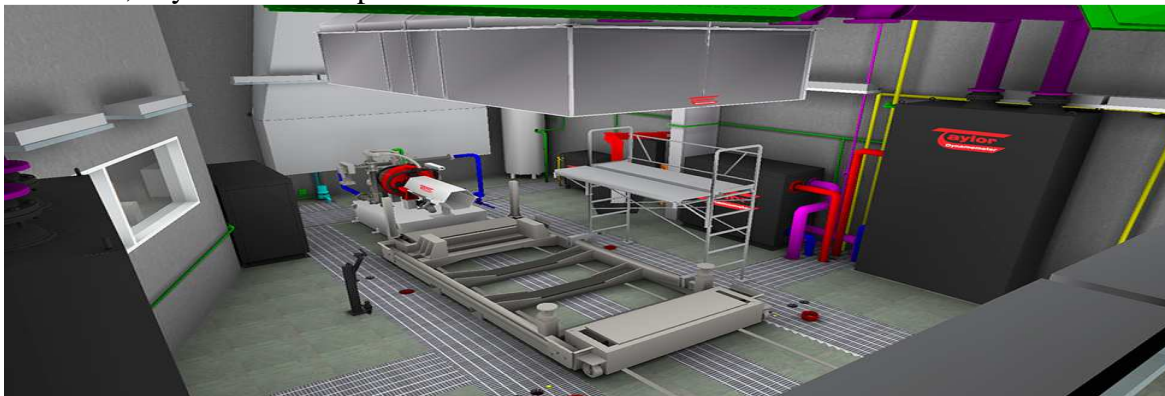
5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl přehled a vývoj zařízení na měření výkonu a krouticího momentu spalovacích motorů, tak zvaných dynamometrů.

Začátek práce je věnován starším typům strojů na měření výkonu spalovacích motorů, tzv. dynamometrům, které se už v současné době prakticky nepoužívají, jako například mechanické (třecí) dynamometry a vzduchové dynamometry, u kterých je sice měření jednoduché, ale značně nepřesné. Dále jsou zde stroje lehce zastaralé, ale i tak nadále hojně používané, jako hydraulické a elektromagnetické vířivé dynamometry. U hydraulických dynamometrů je hlavní nevýhodou pomalá reakce na změnu zátěže. Elektromagnetické vířivé dynamometry jsou mechanicky jednoduché, ale jsou náchylné na kvalitní chlazení a nejsou vhodné pro rychlé změny výkonu. Současně nejvíce používané jsou elektrické dynamometry, ať už střídavé, nebo stejnosměrné. Ve skutečnosti jsou to elektromotory, které pracují ve čtyřech kvadrantech, tzn., že kromě absorpce krouticího momentu, mohou i krouticí moment vytvářet a pracovat v elektromotorickém režimu, čímž dodávají elektrickou energii do sítě. Dalším důležitým současně používanými stroji jsou tenzometrické příruby pro snímání krouticího momentu, díky nimž se podstatně snížily rozměry zařízení v porovnání s ostatními dynamometry. Další jejich důležitou schopností je měřit stejné rozsahy krouticích momentů a rychle reagovat na změnu zatížení. Tímto směrem se nejspíše bude ubírat další vývoj zařízení na měření výkonů spalovacích motorů, které jsou již v současné době hojně využívány v automobilovém průmyslu. Další část práce je věnována jednotlivým charakteristikám vybraných typů dynamometrů a jejich výhodám a nevýhodám.

Zkušební stanoviště na měření výkonů spalovacích motorů

Dynamometry tvoří pouze část zkušebního stanoviště obr. 5.1. Při měření je důležité dodržovat atmosférické podmínky stanovené normou a výrobcem, proto je zkušební stanoviště vybaveno zařízením na měření teploty výfukových plynů, teploty oleje, okolní teploty, okolního tlaku a tlaku oleje. Výsledky celého měření musí být zpracovány graficky a zapsány do tabulky, která se nachází v příslušné normě, proto musí být stanoviště vybaveno počítačem řízeným měřicím a vyhodnocovacím systémem. Nedílnou součástí je i kvalitní vzduchotechnika a chladicí systém. Důvodem chlazení je, že při měření se přebytečná energie přeměňuje v teplo, které musí být odvedeno, aby se zabránilo poškození měřicího zařízení.



Obr. 5.1 Model zkušebního stanoviště [18].

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	35
---------	------------------	------	----

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1]. ATKINS, Richard D. *An introduction to engine testing and development*. Warrendale, Pa.: SAE International, c2009, xv, 289 p. ISBN 07-680-2099-9.
- [2]. VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzděné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. 1. vyd. Brno: Vlk, 2001, 576 s. ISBN 80-238-6573-0.
- [3]. Pronyho brzda. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uzitecnetabulky/pronyho-brzda.htm>.
- [4]. A.J. MARTYR, A.J.M. *Engine testing theory and practice*. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-075-0684-392.
- [5]. ŠTĚTINA, Josef, Michal JAROŠ a Pavel RAMÍK. *Virtuální laboratoř - Experimentální metody: Měřicí systémy* [online]. Brno, 2003 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/tabulky/index.htm>
- [6]. DS Series Water Brake Engine Dynamometers. *Taylor Dynamometer* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.taylordyno.com/products/engine-dynamometers/water-brake/ds-series/>
- [7]. Water Brake TD 24x3. *Taylor Dynamometer* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: http://www.taylordyno.com/sites/default/files/TD-24x3_w.jpg
- [8]. Eddy Current Engine Dynamometer. *Taylor Dynamometer* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.taylordyno.com/products/engine-dynamometers/eddy-current/>
- [9]. *Tenzometrická příruba HMB T40* [online]. 2011 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.sensor-hbm.com/image.php?width=514&height=220&cropratio=514:220&image=/upload/product/big/t40.jpg>
- [10]. *HBM: Tenzometrická příruba - HBM T40* [online]. 2011 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.hbm.cz/>
- [11]. AC Dynamometers. *Dynamometers* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.dynesystems.com/ac-dynamometers-conventional.htm>
- [12]. BEROUN, Stanislav. *Vozidlové motory* [online]. Liberec: TUL, 2005 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: www.kvm.tul.cz/studenti/texty/VOZMOT.pdf
- [13]. ČSN 30 2008. *Motory automobilové. Zkoušky na brzdovém stanovišti*. Praha: Český normalizační institut, 1978.
- [14]. ISO/DIS 1585. *Road vehicles — Engine test code — Net power*. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
- [15]. ISO/DIS 2534. *Road vehicles — Engine test code — Gross power*. Geneva: International Organization for Standardization, 2006.
- [16]. JIS D 1001. *Road vehicles -- Engine power test code*. Tokyo: Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., 1993.
- [17]. Dyno Room. *Taylor Dynamometer* [online]. 2014 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.taylordyno.com/test-cell-solutions/dyno-room/>

7 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
AC	[A]	střídavý proud
DC	[A]	stejnoseměrný proud
K_o	[-]	korekční součinitel pro zážehové motory
K_D	[-]	korekční součinitel pro vznětové motory
L_{VT}	[kg/kg]	teoretické množství suchého vzduchu pro dokonalou oxidaci 1kg paliva
L_{VT}^{ϕ}	[kg/kg]	teoretické množství vlhkého vzduchu
M	[Nm]	krouticí moment
M_{H_2O}	[kg/kmol]	molární hmotnost vodní páry
M_p	[kg]	hmotnost paliva ve směsi
M_{SVZD}	[kg/kmol]	molární hmotnost suchého vzduchu
M_v	[kg]	hmotnost suchého vzduchu ve směsi
g	[mm ³]	spotřeba paliva za jeden cyklus
n	[s ⁻¹]	otáčky
p	[Pa]	tlak
p_{H_2O}	[Pa]	parciální tlak vodních par
p_b	[Pa]	barometrický tlak
r	[mm ³ .l ⁻¹]	součinitel
T	[K]	teplota
V	[l]	objem
λ	[-]	součinitel přebytku vzduchu
π	[-]	Ludolfovo číslo
ω	[rad ⁻¹]	úhlová rychlost